

STEGANOGRAFI MENGUNAKAN CITRA FRAKTAL HIMPUNAN JULIA

Janoe Hendarto

Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Gadjah Mada
email : jhendarto@ugm.ac.id

Abstraksi

Dalam beberapa tahun terakhir, semakin banyak transmisi data multimedia di internet sehingga penting untuk mencegah informasi rahasia agar tidak dicuri oleh penyadap. Steganografi dengan metode fraktal (fractal steganography) adalah teknik menyembunyikan informasi atau pesan dalam suatu citra sampul (cover image) yang berupa citra fraktal (fractal image), dalam penelitian ini digunakan citra fraktal matematis yaitu citra himpunan Julia dari fungsi kompleks $z^2 - c$, dengan memanfaatkan sifat-sifat fraktalnya yaitu antara lain sensitif terhadap nilai awal, kesamaan diri dan iteratif.

Pertama, dibahas bagaimana steganografi dengan menggunakan metode fraktal, yaitu memanfaatkan proses iterasi dalam pembuatan citra himpunan Julia dari fungsi kompleks $z^2 - c$ dengan nilai c sebagai kunci dan juga menggunakan permainan warna (RGB), suatu pesan teks yang sudah dikonversi dalam kode biner dapat disembunyikan sehingga menghasilkan citra stego (stego image) yang secara visual sama dengan citra sampulnya dan diharapkan tahan terhadap serangan. Kemudian, dibuat program komputer yang mampu menyembunyikan dan mengambil pesan pada berbagai citra fraktal himpunan Julia sebagai citra sampulnya. Dari analisis hasil program komputer yang dibuat, perbandingan antara citra sampul dan citra stego berukuran 500x500 pixel, didapat bahwa rata-rata RMSE 0,0758 dan rata-rata PSNR 72,23 db dari 7 set data uji, hal ini menunjukkan bahwa kedua citra sangat mirip sehingga sulit dibedakan mana citra yang memuat pesan dengan ukuran pesan paling besar 80000 bits. Waktu yang diperlukan untuk proses penyembunyian pesan tidak bergantung pada ukuran pesan, sekitar 2,9 detik, sedangkan waktu proses pengambilan pesan berbanding secara linear dengan ukuran pesannya.

Kata kunci: Steganografi fraktal, Citra fraktal, Himpunan Julia.

Abstract

In recent years, there has been an increase in the transmission of multimedia data on the Internet, so it is important to prevent secret information from being stolen by eavesdroppers. Fractal steganography is a technique to hide information (text messages or image) in the fractal image as a cover image, in this research, the image of Julia's set of the complex functions $z^2 - c$ are used, with utilizing the properties of fractals, which are sensitive to initial values, self-similarity and iterative.

First, it discusses how steganography using the fractal method, which utilizes the iteration process in building the image of Julia set images of the complex function $z^2 - c$ with the value of c as a key and also uses color setting (RGB), a text message that has been converted in binary code can be hidden while producing a stego image that is visually the same as the cover image and is expected to be resistant to attack. Then, the computer program was created that was able to hide and retrieve messages on the various fractal images of Julia's set as the cover image. From the analysis of computer program results, the comparison between the cover image and the stego image with 500x500 pixels, found that the average of RMSE is 0.0758 and the average of PSNR is 72.23 db from seven test data sets, this shows that the two images are very similar so it is difficult to distinguish which image contains the message with the largest message size of 80000 bits. The time required for the process of hiding messages does not depend on the size of the message, i.e about 2.9 seconds, while the process of retrieving the message is linearly proportional to the size of the message.

Keywords: Fractal Steganography, Fractal image, Julia set.

Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, semakin banyak transmisi data multimedia di Internet dan masih adanya beberapa informasi penting yang bocor, sehingga bagaimana cara mencegah informasi penting agar tidak dicuri oleh penyadap menjadi topik yang sangat penting. Steganografi adalah teknik atau seni menyembunyikan informasi atau pesan dalam suatu gambar/citra, video, audio atau teks sehingga tidak mudah terlihat oleh pihak ketiga. Ada beragam metode untuk menanamkan informasi dalam sebuah gambar atau citra. Steganografi dengan metode fraktal (*fractal steganography*) adalah teknik menyembunyikan informasi dalam suatu citra sampul (*cover image*) yang berupa citra fraktal (*fractal image*) dan memanfaatkan sifat-sifat fraktalnya yaitu antara lain sensitif terhadap nilai awal, kesamaan diri dan iteratif.

Citra fraktal sangat beragam selain citra alamiah ada citra fraktal matematis yaitu citra yang diperoleh dari fenomena matematis antara lain seperti citra himpunan Julia, citra himpunan Mandelbrot, citra segitiga Sierpinski dan lain-lainnya. Metode steganografi yang lebih umum adalah mengubah LSB dari piksel citra, mengubah palet RGB, atau mengubah bagian citra di domain transformasi. Algoritme yang menanamkan informasi dalam domain transformasi biasanya lebih kuat terhadap serangan dan kurang berdampak pada konten visual dari citra sampul (Agaian dan Susmilch, 2006).

Pada penelitian ini dielaborasi dan dikaji (a). Bagaimana steganografi dengan menggunakan metode fraktal yang diharapkan tahan terhadap serangan. (b) Bagaimana pengaruh citra sampul, yaitu citra fraktal himpunan Julia, dan ukuran pesan terhadap kualitas citra hasil steganografi (*stego image*). (c) Bagaimana program komputer untuk steganografi dengan metode fraktal tersebut. Hasil tinjauan pustaka tentang steganografi menggunakan dengan metode fraktal dapat dilihat pada Tabel 1.

Peneliti	Topik Penelitian, Metode yang digunakan	Kekurangan/kelemahan
Agaian dan Susmilch, 2006	Algoritme global untuk menyusun citra fraktal dengan transformasi Affine, kemudian membahas langkah-langkah global untuk menyembunyikan dan mengambil informasi pada citra fraktal berupa citra pohon dan citra Voncoch, juga dibahas steganografi pada citra Lenna dan citra Rose.	Pesan yang dapat disembunyikan ukurannya relatif kecil yaitu 3500 bit, sedangkan steganografi pada citra Lenna dan citra Rose RMSE nya masih agak tinggi.
Kiani, K. dan Soleimani, M.A.V., 2010	Pendekatan baru penyembunyian data otentikasi (<i>digital watermarking</i>) menggunakan fraktal dan <i>chaos</i> . Menggunakan pengkodean fraktal (SFI) untuk menganalisis metode watermarking yang diusulkan.	Akurasi pesan yang disembunyikan dapat diambil kembali sekitar 80% dan citra sampul yang digunakan citra keabuan.
Yongqiang, C. dkk., 2010	Mengembangkan metode watermarking pada citra keabuan berbasis kompresi fraktal, menggunakan pengkodean fraktal pada proses kompresi fraktal, kemudian proses ekstrasi dan identifikasinya menggunakan <i>fractal decoding</i> .	PSNR dari citra hasil masih sekitar 47,37.
Zhang, H. dkk., 2011	Mengusulkan skema steganografi berbasis citra fraktal, yaitu citra himpunan Julia, yang diharapkan lebih tahan terhadap serangan. Algoritme untuk ekstraksi informasi menggunakan yang hampir sama dengan algoritme untuk menyembunyikan informasi.	RMSE dari citra stegonya masih tinggi, secara visual untuk menyembunyikan pesan 32000 bit citra stegonya sangat terlihat beda sekali.
Patel, H.N. dkk., 2017	Mengusulkan metode steganografi fraktal berbasis palet warna dengan citra sampulnya adalah citra himpunan Julia, proses penanaman bit dari pesan menggunakan pengurutan terhadap palet warna	Yang disembunyikan adalah citra berukuran 90x90 dengan PSNR rata-rata 59.

	berdasarkan nilai iluminasi dari pikselnya.	
Gupta, R. dkk. , 2018	Skema pengkodean citra digital dalam steganografi menggunakan teknik fraktal dalam meningkatkan efisiensi algoritmenya, dengan menggunakan sifat kesamaan diri dari citra fraktal dan transformasi region, percobaan dilakukan terhadap citra sampul warna dan keabuan.	PSNR rata-ratanya 56,45 db masih bisa ditingkatkan.
Hosam, O., 2018	Steganografi untuk menyembunyikan bitcoin ke dalam citra pohon fraktal. Penyisipan kunci dilakukan dengan menggambar pohon fraktal. Sedangkan proses ekstraksi dilakukan dengan menerapkan prosedur pemrosesan citra fraktal.	Untuk pesan yang disembunyikan berukuran 40000 bit menghasilkan error ekstraksi sebesar 0,987.

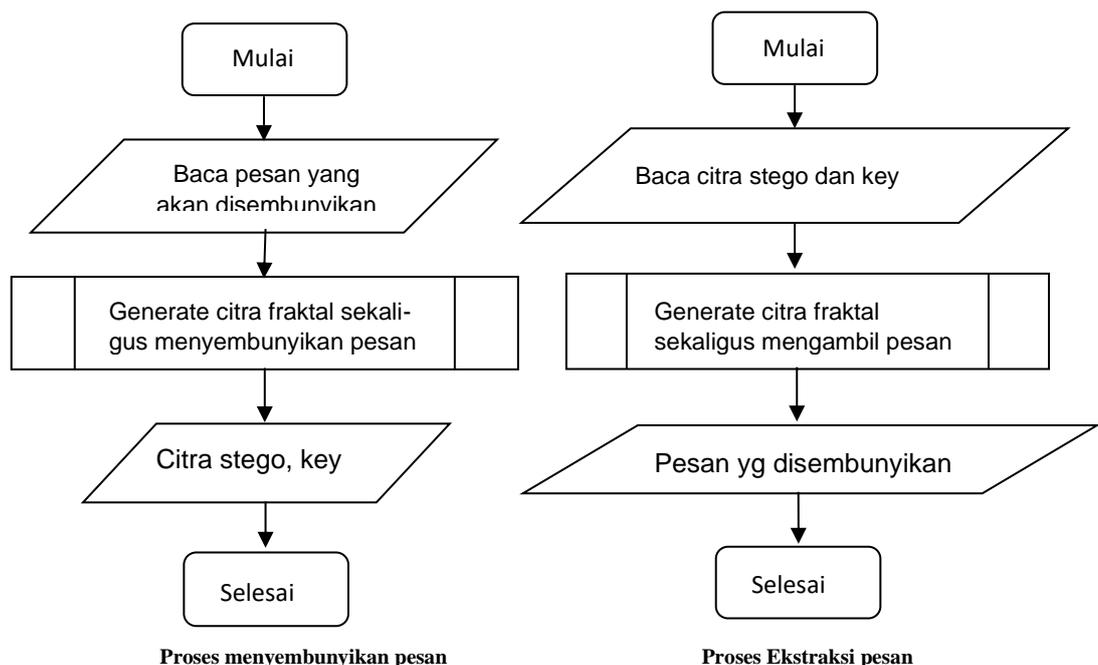
Tabel 1 Tabel Hasil Tinjauan Pustaka

Berdasarkan analisis terhadap hasil penelitian sebelumnya maka dapat dilihat bahwa steganografi menggunakan metode fraktal masih banyak peluang untuk ditingkatkan akurasi dan kapasitas pesannya serta kualitas dari citra stegonya. Penelitian yang dilakukan adalah perbaikan dari penelitian yang dilakukan oleh Zhang, H. dkk. (2011) yang mana RMSE dari citra stegonya masih tinggi dan ukuran pesan yang disembunyikan maksimum hanya 32000 bits.

Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi pustaka, mulai dari referensi buku hingga mempelajari paper-paper mengenai steganografi secara umum dan steganografi dengan metode fraktal.
2. Analisis permasalahan dan analisis terhadap metode/algoritme steganografi dengan menggunakan metode fraktal.
3. Perancangan aplikasi steganografi dengan metode fraktal, secara garis besar langkah-langkah steganografi dengan metode fraktal dapat dinyatakan dengan diagram alir pada Gambar 1.
4. Mengimplementasikan aplikasi dalam bentuk program, dengan menggunakan bahasa pemrograman Delphi.
5. Menguji program aplikasi steganografi dengan menggunakan data uji yaitu beberapa citra sampul dan berbagai ukuran pesan teks yang akan disembunyikan, kemudian dihitung *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) serta waktu prosesnya dari citra hasil steganografi.



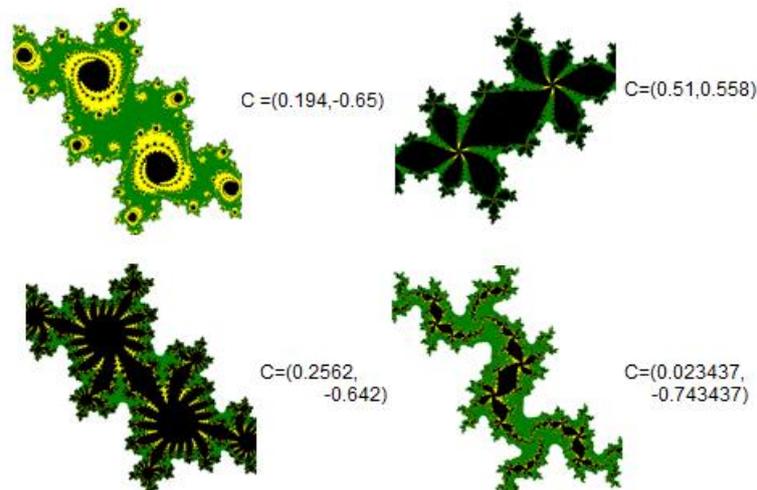
Gambar 1. Diagram alir Steganografi dengan metode fraktal

Hasil dan Pembahasan

Pertama akan disiapkan citra sampel yang berupa gambar dari objek fraktal, yaitu berupa gambar himpunan Julia, serta menyiapkan beberapa pesan teks yang akan disembunyikan, kemudian dirancang algoritme dan program komputer untuk menyembunyikan pesan dan mengambil kembali atau ekstraksi pesan dengan metode fraktal dan akhirnya dianalisis hasil programnya.

A. Penyiapan Citra Sampul dan Pesan teks

Citra sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra fraktal yaitu gambar himpunan Julia dari fungsi kompleks $z^2 - c$ dengan berbagai nilai c yang dapat dicari melalui gambar himpunan Mandelbrot dari fungsi kompleks yang sama, beberapa gambar himpunan Julia untuk beberapa nilai c dapat dilihat pada Gambar 2. Pesan yang akan disembunyikan berupa *plain text* yang terdiri campuran huruf, angka, operator aritmatika dan karakter lainnya dengan berbagai ukuran banyaknya karakter atau bit. Ukuran citra sampulnya adalah 500 x 500 pixel (RGB) dengan format bmp, perbedaan ukuran citra hanya berpengaruh pada kapasitas maksimum dari teks yang akan disembunyikan, Digunakan 7 Data uji pesan teks masing-masing berukuran 1000, 8000, 16000, 32000, 48000, 64000 dan 80000 bit.



Gambar 2. Citra Sampul Himpunan Julia untuk beberapa nilai C

B. Algoritme dan Program Steganografi Menggunakan Metode Fraktal.

Steganografi dengan metode fraktal pada prinsipnya adalah menyembunyikan pesan dalam suatu citra sampel (gambar himpunan Julia) yang dilakukan pada saat gambar sampulnya dibuat dengan memanfaatkan sifat-sifat fraktalnya yaitu antara lain sensitif terhadap nilai awal dan iteratif.

Proses penyembunyian pesan teks pertama pesan teks diubah dalam bentuk kode biner kemudian dilakukan pembuatan gambar himpunan Julia dari fungsi kompleks $z^2 - c$, nilai c dijadikan kunci (*key*), dengan menggunakan algoritme *escape-time* yaitu menggunakan iterasi dan pewarnaan yang sekaligus menyembunyikan pesan berdasarkan nilai-nilai iterasi tertentu (n_0, n_1 dan n_2) dan parameter R yaitu nilai batas daerah bidang kompleks yang keduanya menentukan variasi warnanya, pada penelitian ini digunakan nilai $R=400$ dan 4 macam warna (hitam, putih, kuning dan hijau). Sedangkan proses pengambilan pesan dari citra stego (*stego image*) dilakukan mirip seperti pada proses penyembunyian pesan hanya ada perbandingan warna dari citra sampel dan citra stego untuk mendapatkan data biner dari pesan yang disembunyikan.

Telah dirancang algoritme dan program komputer untuk melakukan penyembunyian dan pengambilan atau ekstraksi pesan teks menggunakan metode fraktal, dimana citra sampel berupa gambar himpunan Julia yang bisa dicari secara interaktif berdasarkan nilai parameter c dan nilai iterasi n dan kemudian pesan disembunyikan pada citra sampel menghasilkan citra stego dan pesan dapat diambil dari pesan stego menghasilkan pesan teks,

juga ditampilkan waktu yang diperlukan untuk melakukan penyembunyian dan pengambilan pesan serta ditampilkan nilai parameter kemiripan antar citra sampul dan citra stegonya yaitu RMSE (*Root Mean Squared Error*) dan PSNR (*Peak Signal-to-Noise Ratio*).

Algoritme versi delphi untuk melakukan penyembunyian pesan adalah sebagai berikut :

```

Begin
n0 := 15; n1:=50;n2:=100; R:=400; k:=1;
for i:=0 to 500 do
for j:=0 to 500 do begin
Viewport_to_Window(i,j,x,y); // window : -1≤x≤1 dan -1≤y≤1
n:=1;
while n<=n2 do begin
yb:=2*x*y-beta; xb:=x*x-y*y-alpa; x:=xb;y:=yb;
if x*x+y*y > R then begin
if n<=n0 then Pixels[i,j]:=clwhite;
else if n<=n1 then begin
if (k<=jumlahpesan) then begin
if(pesanBiner[k]='1') then Pixels[i,j]:=RGB(0,127,0) else Pixels[i,j]:=RGB(0,128,0);
inc(k);
end else Pixels[i,j]:=RGB(0,128,0);
end else // untuk n > n1
begin
if (k<=jumlahpesan) then begin
if(pesanBiner[k]='1') then Pixels[i,j]:=RGB(255,254,0) else Pixels[i,j]:=clyellow;
inc(k);
end else Pixels[i,j]:=clyellow;
end;
n:=n2;
end;
inc(n);
end;
end;
end;
end;

```

Sedangkan Algoritme versi delphi untuk melakukan pengambilan atau ekstraksi pesan adalah sebagai berikut :

```

Begin
n0 := 15; n1:=50;n2:=100; bm:=load(citra stego);R:=400; k:=1;
for i:=0 to 500 do
for j:=0 to 500 do begin
Viewport_to_Window(i,j,x,y); // window : -1≤x≤1 dan -1≤y≤1
n:=1;
while n<=n2 do begin
yb:=2*x*y-beta; xb:=x*x-y*y-alpa; x:=xb; y:=yb;
if x*x+y*y > R then begin
if n<=n0 then Pixels[i,j]:=clwhite;
else if n<=n1 then begin
Pixels[i,j]:=clgreen;
if (k<=jumlahpesan) then begin
if (Pixels[i,j]=bm.Pixels[i,j]) then pesanBiner[k]:='0' else pesanBiner[k]:='1';
inc(k);
end;
end else // untuk n > n1
begin
Pixels[i,j]:=clyellow;
if (k<=jumlahpesan) then begin
if (Pixels[i,j]=bm.Pixels[i,j]) then pesanBiner[k]:='0' else pesanBiner[k]:='1';
inc(k);
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

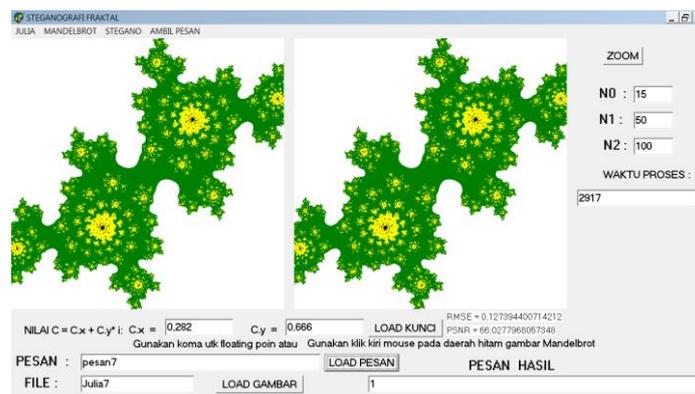
```

```

        end;
    end;
    n:=n2;
end;
inc(n);
end;
end;
end;

```

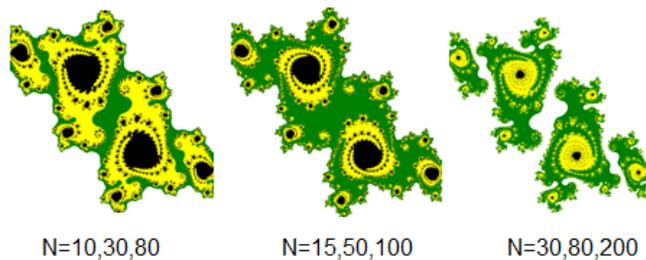
Tampilan dari program yang dibuat hanya terdiri 1 tampilan utama yang mempunyai fasilitas untuk menampilkan citra sampel, citra stego dan proses ambil pesan serta fasilitas lainnya. Tampilan utama program dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan Program Steganografi menggunakan metode fraktal

Program dapat membuat berbagai citra sampel dengan menentukan nilai c dan nilai iterasi N0, N1 dan N2. Nilai c menentukan bentuk polanya, dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan nilai iterasi menentukan area pewarnaan nya, beberapa citra sampel untuk nilai iterasi yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4.

GAMBAR HIMPUNAN JULIA $Z^2 - (0.194, -0.65)$ UTK BEBERAPA NILAI ITERASI $N = N_0, N_1, N_2$



Gambar 4. Citra Sampul untuk beberapa Nilai Iterasi

C. Analisis Hasil Program Steganografi Menggunakan Metode Fraktal.

Untuk mengukur kemiripan dari citra hasil steganografi terhadap citra sampulnya diperlukan parameter PSNR :

$PSNR = 20 \cdot \log_{10} (255 / RMSE)$ (untuk citra RGB)

dengan RMSE adalah $= \sqrt{\frac{\sum_{0 \leq i \leq m-1; 0 \leq j \leq n-1} (Z_{i,j} - Y_{i,j})^2}{m \cdot n}}$

dengan $Z_{i,j}$ nilai warna pixel (i,j) dari citra hasil steganografi dan $Y_{i,j}$ nilai warna pixel (i,j) dari citra sampul.

m dan n adalah ukuran lebar dan tinggi citra (m=500, n=500).

Nilai RMSE dan PSNR dari beberapa percobaan dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8, dari keempat gambar tersebut terlihat bahwa secara visual sulit dibedakan antara citra sampel dan citra stego,

kemudian terlihat juga nilai RMSE dan PSNR sama untuk citra stego dengan pesan berukuran sama walaupun beda citra sampulnya dan beda nilai iterasinya.



Citra Sampul Himpunan Julia $Z^2-(0,194,-0,656)$ Citra Stego setelah disembunyikan pesan 80000 bit
RMSE = 0,127; PSNR = 66,03

Gambar 5. Citra Sampul $c=(0,194,-0,656)$ dan Citra hasil Steganografi untuk pesan 80000 bit



Citra Sampul Himpunan Julia $Z^2-(0,194,-0,656)$ Citra Stego setelah disembunyikan pesan 80000 bit
RMSE = 0,127; PSNR = 66,03

Gambar 6. Citra Sampul $c=(0,194,-0,656)$ dan Citra hasil Steganografi untuk pesan 80000 bit



Citra Sampul Himpunan Julia $Z^2-(0,2562,-0,642)$ Citra Stego setelah disembunyikan pesan 16000 bit
RMSE = 0,057; PSNR = 72,99

Gambar 7. Citra Sampul $c=(0,2562,-0,642)$ dan Citra hasil Steganografi untuk pesan 16000 bit



Citra Sampul Himpunan Julia $Z^2-(0,282,0,666)$ Citra Stego setelah disembunyikan pesan 16000 bit
RMSE = 0,57; PSNR = 72,99

Gambar 8. Citra Sampul $c=(0,282,0,666)$ dan Citra hasil Steganografi untuk pesan 16000 bit

Dari beberapa hasil di atas, terlihat bahwa nilai RMSE dan PSNR dipengaruhi oleh ukuran pesan yang akan disembunyikan. Beberapa data uji yaitu 7 pesan teks dengan berbagai ukuran banyaknya karakter dan citra sampul yaitu himpunan Julia dari fungsi kompleks $z^2 - c$ dengan $c=(0.282,0.666)$ berukuran 500 x 500 pixel untuk nilai iterasi $n = 15, 50$ dan 100, didapat hasil seperti pada tabel 2.

No. Pesan	Ukuran Pesan (bits)	RMSE	PSNR	Waktu Proses (detik)	
				Sembunyikan pesan	Ambil pesan
pesan1	1000	0,014	85,29	2,870	2,605
pesan2	8000	0,040	76,02	2,824	4,508
pesan3	16000	0,057	72,99	2,948	6,396
pesan4	32000	0,081	70,01	2,933	9,376
Pesan5	48000	0,098	68,24	2,901	13,166
Pesan6	64000	0,114	67,00	2,932	18,564
Pesan7	80000	0,127	66,03	2,839	20,233

Tabel 2 Tabel Analisis Hasil Program

Dari tabel 2 terlihat bahwa nilai RMSE nya sangat kecil, rata-rata 0,0758, sedangkan nilai PSNR cukup besar, dengan rata-rata 72,23, hal ini menunjukkan bahwa citra stego hasil penyembunyian pesan tidak berbeda jauh dengan citra sampul, secara visual tidak dapat dilihat perbedaannya. Waktu yang diperlukan untuk proses penyembunyian pesan tidak bergantung pada ukuran pesan, sekitar 2,9 detik, sedangkan waktu proses pengambilan pesan berbanding secara linear dengan ukuran pesan.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah berhasil disusun algoritme dan program untuk steganografi yaitu melakukan penyembunyian dan pengambilan kembali pesan teks pada citra fraktal sebagai citra sampul.
2. Program komputer yang dibuat dapat melakukan penyembunyian pesan teks pada citra sampul berupa gambar himpunan Julia dari fungsi kompleks $Z^2 - c$ yang diinginkan, nilai c dijadikan sebagai kunci untuk dapat mengambil kembali pesan yang disembunyikan. Citra hasil steganografi yang didapat secara visual sulit untuk dibedakan dengan citra sampulnya yaitu mempunyai rata-rata RMSE sebesar 0,0758 dan rata-rata PSNR 72,23db yang diperoleh dari 7 macam ukuran pesan dan beberapa citra sampul, sedangkan pesan teks hasil ekstraksi cukup akurat yaitu sama persis dengan pesan yang disembunyikan.
3. Waktu yang diperlukan untuk proses penyembunyian pesan tidak bergantung pada ukuran pesan, sekitar 2,9 detik, sedangkan waktu proses pengambilan atau ekstraksi pesan berbanding secara linear dengan ukuran pesannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aгаian, S.S. dan Susmilch, J.M., 2006, "Fractal Steganography Using Artificially Generated Images", pp. 312-317, 1-4244-0359-6/06/\$20.00 ©2006 IEEE.
- [2]. Gupta, R. dkk., 2018, " Digital Image Encoding Scheme using Fractal Approach ", 978-1-5386-2615-3/18/\$31.00 @2018 IEEE.
- [3]. Hosam, O., 2018, "Hiding Bitcoins in Steganographic Fractals", pp. 512-519, 978-1-5386-7568-7/18/\$31.00 ©2018 IEEE.
- [4]. Kiani, K. dan Soleimani, M.A.V., 2010, "Image Authentication Using Fractal Watermarking and Chaos Theory", 978-1-4244-7907-8/10/\$26.00 ©2010 IEEE.
- [5]. Patel, H.N. dkk., 2017, "Design of a Color Palette Based Image Steganography Algorithm for Fractal

- Images”, pp.2584-2589, 978-1-5090-4442-9/17/\$31.00_c 2017 IEEE.
- [6]. Yongqiang, C. dkk., 2010, “Gray Image Watermark Method based on Fractal Compression”, 2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 403-406, 978-0-7695-4077-1/10 \$26.00 © 2010 IEEE.
- [7]. Zhang, H. dkk., 2011, “A Steganography Scheme Based on Fractal Images”, 2011 Second International Conference on Networking and Distributed Computing, pp. 28-31, 978-0-7695-4427-4/11 \$26.00 © 2011 IEEE.

Biodata Penulis

Drs. Janoe Hendaro M.Kom., memperoleh gelar Sarjana Matematika (Drs.), Program Studi Matematika FMIPA UGM, lulus tahun 1986. Tahun 1992 memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom) dari Program Studi Ilmu Komputer Program Pascasarjana UI. Saat ini sebagai Staf Pengajar program studi S1 Ilmu Komputer Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika FMIPA Universitas Gadjah Mada.